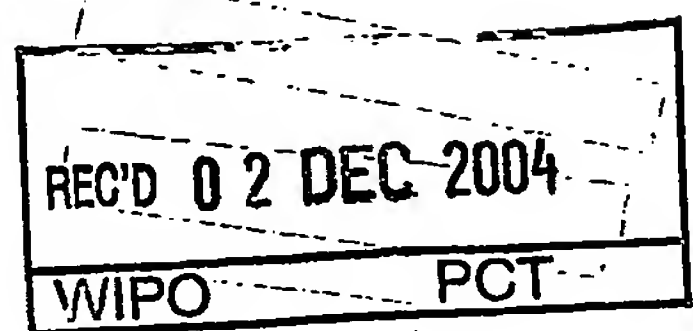


**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 56 682.1

Anmeldetag: 30. November 2003

Anmelder/Inhaber: Stiftung Alfred-Wegener-Institut für
Polar- und Meeresforschung,
27568 Bremerhaven/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Ermittlung von konstruktiven
Erstmodelldaten für eine technische
Leichtbaustruktur

IPC: G 06 F, F 16 S

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. November 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

Verfahren zur Ermittlung von konstruktiven Erstmodelldaten für eine technische Leichtbaustruktur

5 Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung von konstruktiven Erstmodelldaten für eine technische Leichtbaustruktur.

- 10 Die Verwendung von Vorbildern aus der Natur für technische Anwendungen ist seit langem bekannt und dem menschlichen Verhalten nahegelegt. Die Natur hat im Laufe der Evolution durch natürliche Auslese extrem energiesparende Konstruktionen und Verfahren als Antwort auf die Frage nach der besten Strategie im dauernden Überlebenskampf der Arten hervorgebracht, die für
- 15 viele technische Anwendungen, wenn auch aus anderen Beweggründen, geeignet und wünschenswert erscheinen. Die Umsetzung scheitert dabei aber in der Regel an der Problematik, das biologische System unmittelbar auf das gewünschte technische System anwendbar zu machen. Grundlage für eine solche Umsetzung muss einerseits das exakte Studium des morphologischen
- 20 Aufbaus biologischer Systeme einschließlich der verwendeten natürlichen Materialien und ihrer Eigenschaften und andererseits der Erwerb genauer Kenntnisse über deren Zweck, also den Gesamtzusammenhang des betrachteten Systems in seiner natürlichen Umgebung sein. Erst eine solchermaßen umfassende Aufklärung aus biologisch-technischer Sicht
- 25 ermöglicht es dem Konstrukteur, technische Systeme unter Berücksichtigung biologischer Wirkmechanismen zu gestalten. Die Wissenschaft von der systematischen technischen Umsetzung biologischer Konstruktionen und Verfahren in die technische Welt wird allgemein als Bionik oder Biomimetik bezeichnet.

30

Eine Vielzahl von Veröffentlichungen befasst sich mit der Ausdeutung solcher Prinzipien und der Darstellung des jeweiligen Standes der Technik. Die

Veröffentlichung I (Werner Nachtigall, „Vorbild Natur – Bionik-Design für funktionelles Gestalten“, Springer Verlag, 1997) beschreibt die Grundprinzipien natürlicher Konstruktionen [I, S.21 ff]: Die Natur konstruiert nicht additive, auf einzelne Haupteigenschaften maximierte Komponenten, sondern entwickelt integrierte, im Hinblick auf die Summe seiner notwendigen Eigenschaften optimierte Systeme. In der Natur steht dem System der durch Nahrungsaufnahme erwerbbare Energie der energetische Aufwand zur Verteidigung/Flucht einerseits und der Fortpflanzung andererseits gegenüber. Je effektiver Energie eingesetzt werden kann, desto größer die Überlebenschance. Leichte und dabei stabile Bauweisen und detaillierte Anpassungen an unterschiedlichste Umweltbedingungen sind die Folge und stellen einen großen, für die Technik nutzbaren Designpool dar. Als bekanntes Beispiel für bionisches Design kann der Lotus-Effekt dienen [I, S.43-44]. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass Oberflächen, z.B. von Blättern, mit einer definierten Verteilung von Mikrorauigkeiten die Anhaftung von Schmutzpartikeln und Wassertropfen sehr wirksam verhindern, indem Wassertropfen nicht flächig anheften, sondern durch ihre Oberflächenspannung auf den Spitzen der Rauigkeiten abrollen und dabei den ebenfalls nur auf den Spitzen der Rauigkeiten ruhenden Schmutz einrollen und mitnehmen. Diese Fähigkeit gestattet es den Pflanzen, sich effektiv selbst zu reinigen und dabei die zum Überleben wichtige Lichtausbeute auf hohem Niveau zu halten. Auf technischen Oberflächen kann dieser Selbstreinigungseffekt durch Beschichtung mit anderen, die Rauigkeit der Pflanzenblätter nachbildenden Materialien ebenfalls erzielt werden. Damit kann nicht nur der Reinigungsaufwand z.B. von Solarzellen zur Aufrechterhaltung der Lichtausbeute sondern auch von optischen Flächen wie Hausfassaden und Fensterscheiben deutlich reduziert werden. Es gibt eine Reihe weiterer Beispiele aus der Tierwelt, z.B. die Ausnutzung der strömungstechnischen und der Antifoulingseigenschaften von Walhaut, der richtungsabhängigen Reibungserzeugung von Schlangenhaut usw. Für die technische Umsetzung solcher Analogien wird in der Veröffentlichung

[I, S.127-130] die notwendige Modellbildung in dem Schritt Prinzip-Nullmodell-Endausführung (Abb.67) jedoch nicht näher beschrieben.

In der **Veröffentlichung II** (Claus Mattheck, „Design in der Natur – Der Baum als Lehrmeister“, Rombach Ökologie, 1997) [II, S.13-18, 45-47] wird der Mechanismus der biologischen Selbstoptimierung, d.h. der Optimierung des Energieeinsatzes, anhand des Beispiels des adaptiven Wachstums von Bäumen behandelt. Durch die ständigen Veränderungen der Lebensbedingungen im Laufe seines Daseins unterliegt der Baumstamm unterschiedlichen Spannungsverhältnissen durch Wind, Sonne, Bodenbeschaffenheit usw. Die genetische Disposition des Baums befähigt ihn nun, ungünstigen Spannungsverteilungen durch unterschiedliches Dickenwachstum zwischen gefährdeten und ungefährdeten Stellen entgegenzuwirken. Er verfolgt immer das Ziel, im zeitlichen Mittel auf der gesamten Oberfläche des Baumstamms konstante Spannung wirken zu lassen. Dieselben Verhältnisse gelten auch für andere, mechanisch hochbelastete Bauteile der Natur wie Knochen, Zähne, Krallen usw. Das zugrunde liegende Prinzip, das Axiom von der konstanten Spannung, kann als Grundlage für biologisch-technisches Konstruieren betrachtet werden. Auch hier zeigt sich wieder, dass das energieoptimierte Design der Natur, d.h. bei für den vorgesehenen Einsatzzweck notwendigen Krafteinleitungen durch Weglassung von spannungsfreien Zonen minimiertem Bauteilgewicht, Vorbildfunktionen für ökologisch und wirtschaftlich optimierte technische Strukturen erfüllt. Bei der Beschreibung der Vorgehensweise zur Umsetzung ökologischen Designs [II, S.63,64], von der die Erfindung als nächstliegendem Stand der Technik ausgeht, werden die anwendbaren Methoden und deren Zusammenwirken kurz dargestellt. Die technische Aufgabenstellung liefert zunächst die relevanten Grundparameter für die herzustellende technische Struktur einer Konstruktion. Hierbei handelt es sich beispielsweise um die ungefähre Bauteildimension (Grenzabmessung), die angreifenden äußeren Belastungen und die Randbedingungen (Einspannung, Auflager, Führungen etc.). Die Mechanik liefert z.B. mit der Finite-Element-Methode (FEM) als

numerischem Handwerkszeug die auftretenden Spannungen, Dehnungen und Verformungen in der technischen Struktur. Mit der so genannten Soft Kill Option (SKO) können dann nichttragende Konstruktionsbereiche als unnötiger Ballast beseitigt werden. Somit kann ein voroptimierter Leichtbaudesignvorschlag als Erstmodell zur Verfügung gestellt werden, das aber noch Problemzonen aufweist. Diese können mit der so genannten Computer Aided Optimization (CAO) durch weiteres Schrumpfen und Verändern der Konstruktion nachbehandelt werden, sodass durch einen iterativen Optimierungsprozess schließlich die zu erstellende Konstruktion mit einer dauerfesten Leichtbaustruktur entsteht. Dabei hängt der Umfang des Optimierungsprozesses direkt von der Qualität des Erstmodells ab. Je näher dieses bereits an der fertigen Endkonstruktion liegt, desto geringer ist der Optimierungsaufwand. Insgesamt sind jedoch nur relativ einfache Strukturen umsetzbar, und schon die Erstellung des datenbasierten Erstmodells nach dem Vorbild aus der Natur erfordert im Stand der Technik langwierige Übertragungs- und Rechenprozesse. Abhilfe bietet hier bislang nur die Verwendung sehr einfacher Erstmodelle, wodurch sich der Rechenaufwand aber nur auf die Optimierung an der endgültigen Konstruktion verlagert, da die Abweichung zum Erstmodell sehr groß ist.

Die Veröffentlichung III (Hamm, Merkel, Springer, Jurkojs, Maier, Prechtel, Smetacek, „Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection“, Nature, Vol.421, S.841-843, Feb.2003) beschäftigt sich mit dem speziellen und vielfältigen konstruktiven Aufbau von Diatomeen (Kieselalgen) als Schutzeinrichtung. Insbesondere im Hinblick auf mechanisch beanspruchte Leichtbaustrukturen für Konstruktionen im Maschinenbau oder mechanisch-ästhetische Schöpfungen der Architektur können die Schalenkonstrukte biomineralisierte Einzeller, und hier besonders der Bacillariophyceen (Diatomeen, Phytoplankton) und Phaeodarien (Radiolarien, Zooplankton) eine entscheidende Vorbildrolle spielen. Hier ist eine große Vielfalt von Strukturen gegeben, deren Hauptaufgabe im Schutz gegen mechanische Belastung und Zerstörung im funktionellen Kontext mit

ihren Nahrungskonkurrenten und Fressfeinden bei gleichzeitiger Minimierung ihres Gewichts, d.h. Optimierung des Energieeinsatzes, besteht. Es sind ca. 60000 Arten Kieselalgen in zwei Ordnungen bekannt, die aufgrund ihrer Schalen geometrie in zentrische (centrales) und pennate (pennales, bogenförmige) unterschieden werden. Die skelettartigen Stützgerüste der Kieselalgen sind aus Kieselsäure gebildet, den Sauerstoffsäuren des Siliziums $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Je nach Wasseranteil spricht man von Ortho-, Orthodi- oder Metakieselsäure. Ohne Wasser bleibt Kieselsäureanhydrid SiO_2 übrig. Kieselalgen erzielen mit einem Minimum an Material ein Maximum an Stabilität und haben somit die gleiche Zielsetzung wie moderne Leichtbaukonstruktionen. Als Hintergrund seien noch die Internet-**Veröffentlichung IV** („Wunderschöne Kieselalgen: Muster für stabile Konstruktionen“, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, http://www.awi-bremerhaven.de/AWI/Presse/PM/030219_diatomeen-d.html) mit einigen technischen Daten zu Diatomeen und die Internet-**Veröffentlichung V** („Jugendstil im Meer“, Forschungszentrum Jülich, <http://fz-juelich.de/portal/index.php?jahr=2003&index=281&cmd=show&mid=125>) mit Fotos zu der Standardtestmethode mit Glasnadeln zur mechanischen Festigkeit von biomineralisierten Einzellern genannt.

20

In der klassischen Konstruktion wird zunächst eine den technischen Anforderungen der zu erstellenden Struktur möglichst weit angenäherte Zeichnung erstellt. Dazu ist ein auf diesem technischen Gebiet versierter Konstrukteur erforderlich. Die konstruierte Struktur wird anschließend als Erstmodell mit geeigneten Fertigungsmethoden hergestellt und geprüft. Erfüllt sie die gestellten Anforderungen, d.h. hält sie den Belastungen für die gewünschte Lastspielzahl und/oder Lebensdauer ohne die Funktion beeinträchtigende Veränderungen stand, wird sie umgesetzt und geht so gegebenenfalls in Serie. Anderenfalls wird sie an den kritischen Stellen verstärkt. Eine Schwächung an überdimensionierten Stellen erfolgt hier nicht, da diese in der Regel nicht bekannt werden. Ein fortschrittlicher Konstruktionsprozess optimiert die Struktur, indem ein FEM-Modell erzeugt

und am Computer unter den geforderten Stresssituationen getestet und gegebenenfalls verbessert wird. Regelmäßig erfolgt hier aber auch nur ein Spannungsabbau durch Verstärkung. Die Methode dient nicht der Optimierung im allgemeinen, d.h. ökologisch-energetischen Sinne, sondern verfolgt das Ziel, Versuch-und-Fehler-Schritte zu vermeiden und stellt somit nur eine Optimierung in Hinsicht auf die Entwicklungszeit dar. Darüber hinaus werden in der klassischen Konstruktionslehre kaum jemals ganze Systeme aus mehreren Bauteilen optimiert. Aus den Veröffentlichungen I, II und III wird aber deutlich, dass es im allgemeinen Interesse liegen muss, energetisch optimierte Strukturen, insbesondere Leichtbaustrukturen, zu entwickeln. Mit den herkömmlichen Methoden ist dieses Ziel nur mit hohen Aufwendungen an Rechenzeit und -kapazität möglich. Es wird also erkennbar, dass ein ganz entscheidender Schritt zur ökologischen Entwicklung mechanisch hoch belastbarer Strukturen die Erstellung des Erstmodells darstellt. Je näher ein solches Erstmodell an die geforderten Bedingungen heranreicht, desto einfacher ist die Anpassung und Optimierung auf eine rationell fertigbare, energetisch optimale Konstruktion. Dies ist einem Konstrukteur höchstens auf einem jeweils sehr eng begrenzten Spezialgebiet und nur für einzelne Bauteile oder sehr einfache Systeme möglich. Hochgenaue Erstmodelle komplizierter Strukturen auf den unterschiedlichsten Gebieten können so also nicht erstellt werden.

In der deutschen Offenlegungsschrift **DE 100 53 299 A1** („Verfahren zur Konstruktion eines Bauteils und Wischanlagenbauteil“) wird beispielhaft das Vorgehen zur Konstruktion von mechanischen Teilen mit rechnerunterstützten Methoden dargelegt. Die Verfahrensschritte umfassen eine gegenständliche Modellkonstruktion (Designraummodell), Beschreibung des Modells mit finiten Elementen und Einsatz eines 3D-Programms zur Erstellung eines Datenmodells. Weiterhin werden Verfahrensschritte zur Topologie- und Shape-, d.h. Form-Optimierung angegeben. Die Anmeldung zeigt exemplarisch, wie aufwändig der Erwerb von Daten für ein Erstmodell ist. Die Methodik, ein gegenständliches Modell zu erzeugen und dann eine Zeichnung, d.h. heute

häufig ein Datenmodell, oder umgekehrt, zunächst eine Zeichnung und dann, ggf. rechnerunterstützt, ein gegenständliches Modell, um anschließend numerische Optimierungen anzuwenden, kommt in einer Vielzahl von Varianten zum Einsatz, ohne Ansätze für den verbesserten Erwerb von
5 Erstmodelldaten zu bieten.

Die genannten Veröffentlichungen geben kein rationelles Verfahren zum Erstellen eines geeigneten Erstmodells an, mit dessen Hilfe die erforderliche Optimierungsarbeit an einer energetisch besonders vorteilhaften
10 Leichtbaustruktur minimiert werden kann. Der unmittelbare Schritt vom technisch-biologischen Studium natürlicher Architekturen und Verfahren im Rahmen von bionisch ausgelösten Analogieuntersuchungen wird nicht beschrieben, ist also dem zweckgerichteten interdisziplinären Team von Biologen und Technikern überlassen. Das zu wählende Verfahren richtet sich
15 dabei nach dem Gegenstand der Untersuchung und den technischen Möglichkeiten der Beteiligten. Eine verallgemeinerte Methodik, die sich auf viele verschiedene Anforderungsprofile anpasst, wird nicht vorgestellt. Es ist daher die **Aufgabe** der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Erstellung von Erstmodelldaten für eine technische Leichtbaustruktur anzugeben, das
20 besonders rationell, aber trotzdem zuverlässig arbeitet. Das anzugebende Verfahren soll zeitlich und wirtschaftlich so effektiv wie möglich Erstmodelldaten zur Verfügung stellen, mit deren Hilfe ein den technischen Anforderungen an die zu erstellende Leichtbaukonstruktion gut angenähertes Erstmodell erstellt werden kann.

25

Die **Lösung** stellt das erfindungsgemäße Verfahren mit folgenden Verfahrensschritten dar:

1. Bereitstellung der relevanten Grundparameter der zu erstellenden technischen Leichtbaustruktur in Bezug auf die technische Problemstellung,
- 30 2. Vorauswahl von einem oder mehreren biomineralisierten Einzellern mit zu den bereitgestellten Grundparametern passenden natürlichen Schalenarchitekturen,

3. Auswahl von einer oder mehreren Feinstrukturen der für eine technische Realisierung aussichtsreichsten Bereiche der vorausgewählten Schalenarchitekturen,
4. direkte Abnahme der konstruktiven Daten von den ausgewählten Feinstrukturen,
5. Skalierung der abgenommenen konstruktiven Daten auf die Grundparameter der zu erstellenden technischen Leichtbaustruktur,
6. Kombination und Anpassung der skalierten konstruktiven Daten zu einem Satz von Erstmodelldaten für ein Erstmodell der zu erstellenden technischen Leichtbaustruktur und
7. Optimierung des Erstmodells.

Zur Lösung der gestellten Aufgabe bietet sich der Reichtum an Formen, Funktionen und Verfahren der Natur mit ihren auf evolutionäre Weise erworbenen Erfahrungen an. Die Schalenarchitekturen der biomineralisierten Einzeller verfügen dabei über einen besonders großen Fundus an technisch relevanten Varianten. Nach Werner Nachtigall, einem der Begründer der wissenschaftlichen Bionik, liefert die Natur zwar keine unmittelbar verwendbaren Vorlagen für den technischen Einsatz. Vielmehr muss das biologisch-technische Studium der natürlichen Strukturen ein Verständnis für die Lösungswege der betrachteten Organismen liefern und dieses dann auf das technische Problem angewendet werden. Das erfindungsgemäße Verfahren stellt dieses Prinzip auch nicht in Frage, sondern greift aus der Vielzahl der möglichen Organismen lediglich eine große, aber hinsichtlich seiner grundsätzlichen Eigenschaften eng begrenzte Gruppe heraus, schafft damit einen ebenfalls eng begrenzten Bereich der Untersuchungsmethodik und bezieht deren verallgemeinerte Vorgehensweisen mit ein. Dadurch wird ein Pool von Vorlagen bereitgestellt, der zwar nicht unmittelbar zugänglich ist, jedoch mit Hilfe des rezeptartig eingesetzten Verfahrens rationell angewendet werden kann. In Kenntnis der an die zu schaffende Leichtbaustruktur gestellten Anforderungen werden zunächst die gewünschten Eigenschaften definiert. Mit diesen wird eine Vorauswahl an geeigneten biomineralisierten Einzellem

getroffen. Aus der Auswahl wird mit weiteren gewünschten Eigenschaften eine weitere Auswahl von Unterstrukturen und einzelnen Strukturelementen getroffen. Deren konstruktive Daten werden direkt ermittelt, die diversen Elemente kombiniert und eine Anpassung der Grenzbereiche vorgenommen.

- 5 Die so entstandene integrierte Struktur wird nach den allgemeinen Regeln der Mechanik auf die geforderten Maße skaliert und damit die Daten für ein Erstmodell in einfacher Weise bereitgestellt. Ein aufwändiges Berechnen der Erstmodelldaten entfällt somit und der zeitliche und kapazitive Rechenaufwand verringert sich bedeutsam. Ein anschließend angewendetes
- 10 Optimierungsverfahren sorgt für die Ausgestaltung bis zur gewünschten technischen Leichtbaustruktur. Besonders vorteilhaft ist der zumindest halbautomatische Erwerb von konstruktiven Daten anhand standardisierter Untersuchungsmethoden. Der Einsatz numerischer Verfahren zur Speicherung und Auswahl von Datensätzen der biomineralisierten Einzeller, ihrer
- 15 Schalenarchitekturen und deren konstruktiver Daten einerseits sowie der Daten zu den Methoden der Skalierung, Kombination und Anpassung, der Erstmodelle und deren Optimierungsergebnissen andererseits ist ebenfalls besonders vorteilhaft. Nähere Einzelheiten zum erfindungsgemäßen Verfahren und seinen vorteilhaften Weiterbildungen sind dem speziellen
- 20 Beschreibungsteil zu entnehmen.

Eine **Ausbildungsform** des Verfahrens nach der Erfindung wird nachfolgend anhand des in der **Figur** dargestellten Blockdiagramms zum weiteren

25 Verständnis der Erfindung näher erläutert.

- Im **Verfahrensschritt 1** wird die gewünschte technische Leichtbaustruktur bezüglich ihrer Eigenschaften in Bezug auf die technische Problemstellung genau beschrieben. Als Grundlage dafür können gemeinsame beschreibende Eigenschaften technischer Leichtbaustrukturen und Schalenarchitekturen
- 30 biomineralisierter Einzeller als organisierte Sammlung von Aspekten und Aspektwerten in einer Datenbank abgelegt sein. Zur Beschreibung der Eigenschaften wird dann ein nach informationstechnischen Gesichtspunkten

indizierter Aspektkatalog verwendet, dessen Elemente wohldefinierte Werte annehmen können. Je umfassender ein Aspektkatalog angelegt ist und je besser es gelingt, den gesamten betrachteten Problembereich damit abzudecken, desto genauer kann das jeweils spezielle technische Problem beschrieben werden. Im Zuge häufiger Verwendung kann ein gut gepflegter Aspektkatalog wachsen und immer präziseren Anforderungen gerecht werden. Im vorliegenden Fall der Ermittlung von Erstmodelldaten technischer Leichtbaustrukturen spielen unter anderem Aspekte der Begrenzung des Raums, in dem sich die Konstruktion bewegen darf, der statischen und dynamischen Belastung der Struktur, sowie Vorgaben bezüglich der Gewichtsrelationen von Bauteilen oder ästhetische Gesichtspunkte eine wichtige Rolle.

Für die Lösung ähnlicher Aufgaben kann erwartet werden, dass bereits verwendete Unterstrukturen erneut zum Einsatz kommen können. Für eine Erstmodellerstellung einmal gefundene Daten können in wirtschaftlicher Weise wiederverwendet werden, wenn eine Hierarchie von aufeinander aufbauenden und kombinierbaren Unterstrukturen vorgehalten wird. Auf diese Weise können je nach Erfordernis kleine oder größere, in der Hierarchie höher stehende Unterstrukturen beliebig kombiniert und die Erstmodellerstellung beschleunigt werden. Im **Verfahrensschritt 2** kann mit Hilfe eines anhand einer genauen Definition des technischen Problems mit passenden Werten gefüllten Aspektsatzes einer nach diesen Kriterien sortierbaren Menge von Feinstrukturen natürlicher Schalenarchitekturen eine passende Untermenge entnommen werden. Dazu kann vorteilhaft eine Ablage einer durch ihre bekannten Eigenschaften charakterisierten Hierarchie einzelner Strukturelemente, größerer Unterstrukturen und ganzer Schalenarchitekturen biomineralisierter Einzellern als organisierte Sammlung in einer Datenbank dienen. In diesem Verfahrensschritt 2 wird zunächst mit einer Grundmenge von Aspekten eine Vorauswahl getroffen. Steht für eine gewünschte Eigenschaft kein passender Aspektwert oder sogar kein passender Aspekt zur Verfügung,

muss eine nach den übrigen Kriterien ausgesuchte Untermenge von natürlichen Schalenarchitekturen für einen weiteren Überlegungsschritt herangezogen werden. Hierin wird festgelegt, wie eine Methode definiert werden kann, um die Erweiterung des Wertebereichs eines vorhandenen oder
5 die Ermittlung der Werte eines neuen, das aufgeworfene Teilproblem beschreibenden Aspekts zu ermöglichen.

Der **Verfahrensschritt 3** verfeinert die Suche nach geeigneten Feinstrukturen, indem er aus der Menge der prinzipiell geeigneten Schalenarchitekturen durch
10 eine eingegrenzte Untermenge von Aspekten oder weitere Einschränkung der Wertebereiche bestimmter Aspekte besonders geeignet erscheinende Schalenarchitekturen, Unterstrukturen oder Strukturelemente daraus bestimmt. Lösungen aus dem Bereich der hier betrachteten Schalenarchitektur biomineralisierter Einzeller für auftretende Grundfragen der technischen
15 Mechanik, z.B. der Spannungsverhältnisse in Problemzonen der gewünschten technischen Leichtbaustrukturen, können durch die aspektive Beschreibung als Katalog ständig wiederverwendbarer Teillösungen in einer Datenbank hinterlegt werden. Einzelne Strukturelemente, größere Unterstrukturen und Kombinationen daraus können in einer hierarchischen Weise aspektiert und
20 ebenfalls zur Wiederverwendung in einer Datenbank hinterlegt werden. Mit Hilfe der in den Verfahrensschritten 1 bis 3 dargestellten Methodik gelingt es, auf der Basis einer möglichst genauen und umfassenden Aspektierung des Problems aus den Datenbeständen schnell zu passenden Teillösungen zu gelangen. Es stehen dann auch die zugehörigen konstruktiven Daten der
25 ausgewählten Teillösungen zur Verfügung.

Sofern aus den Datenbeständen keine ausreichend genauen Teillösungen bestimmt werden können, müssen im **Verfahrensschritt 4** standardisierte Untersuchungsmethoden zur Bestimmung von mechanischen
30 Grundeigenschaften auf die bis zu diesem Schritt bestimmten übergeordneten

Strukturen, ggf. komplette Schalenarchitekturen angewendet werden. Dazu müssen im ursprünglichsten Fall neue biomineralisierte Einzeller im Bestand der Natur gefunden und katalogisiert oder bereits katalogisierte auf ihre Eignung und ihre konstruktiven Daten untersucht werden. Der Erwerb der konstruktiven Daten von den Feinstrukturen der Schalenarchitekturen ist ein

5 zeitaufwändiger Arbeitsgang. Daher kann das Verfahren nach der Erfindung vorteilhaft mit einer direkten Abnahme der konstruktiven Daten von den ausgewählten Feinstrukturen oder Unterstrukturen durch zumindest halbautomatisches mikroskopisches Scannen durchgeführt werden. Die

10 Abmessungen der Schalenstrukturen liegen im Bereich von einigen Nanometern für die unterste Hierarchieebene von Unterstrukturen bis über einen Millimeter für komplette Schalen. Für eine hochauflösende bildliche Darstellung kommen daher verschiedene elektronenmikroskopische Aufnahmeverfahren in Frage. Um dreidimensionale Strukturdaten zu erhalten,

15 sind mehrere Aufnahmen aus verschiedenen Perspektiven oder entsprechende räumliche Aufnahmesysteme erforderlich. Bei Kenntnis der Relationen der Aufnahmewinkel zueinander kann ein Rechenprogramm die digitalisierten Mikroskopie-Pixelbilder in Vektoren umrechnen und damit skalierbare Daten zur weiteren Verarbeitung in Richtung auf die gewünschte

20 Erstmodellbildung liefern. Eine Möglichkeit zur Generierung von 3D-Strukturmodellen besteht im Einsatz eines Laser-Konfokalmikroskops, das einzelne Schichten mikroskopischer Schalenstrukturen darstellt. Durch Rechenprogramme können daraus räumliche Darstellungen der originalen Strukturen rekombiniert und skalierbare Daten für die Erstmodellbildung

25 bereitgestellt werden. Dabei ist es wiederum hilfreich, wenn die direkt abgenommenen konstruktiven Daten als organisierte Sammlung in einer Datenbank abgelegt werden. Die Wiederverwendung der aufwändig erworbenen Daten ist nahe liegend, da zur Lösung immer wieder ähnlicher Probleme auch immer wieder gleiche oder ähnliche Unterstrukturen eingesetzt

30 werden können. Stresstests, z.B. der Glasnadeltest (siehe Veröffentlichungen

Im **Verfahrensschritt 5** werden die gewonnenen Daten auf die Größenverhältnisse der zu erstellenden technischen Leichtbaustruktur skaliert. Im Falle von statischen oder quasistatischen Belastungsverhältnissen ist eine solche einfache Hochrechnung zulässig. Bei hauptsächlich stark dynamisch beanspruchten Teilen, deren Verhältnisse nicht durch quasistatische Annahmen oder direkte Analogien zu Schalenarchitekturfragmenten angenähert werden können, müssen gegebenenfalls andere Skalierungsmethoden angewendet werden. Im **Verfahrensschritt 6** werden alle Unterstrukturen zu der gewünschten technischen Leichtbaustruktur zusammengefasst und die Stoßstellen geglättet. Das Ergebnis sind die Daten eines Erstmodells, das sehr eng an ein passendes Spektrum von Naturvorlagen angelehnt ist und damit der angestrebten Leichtbaukonstruktion schon sehr nahe kommt. Auch hierbei ist eine Ablage von Kriterien für die Skalierung, die Kombination und die Anpassung der konstruktiven Daten, von Erstmodellen und deren Optimierungsergebnissen als organisierte Sammlung in einer Datenbank von Vorteil.

Im **Verfahrensschritt 7** schließlich wird das Erstmodell zu einem ausgereiften mechanischen System optimiert. Hierzu können unterschiedliche Optimierungsverfahren zum Einsatz kommen, z.B. die in der Veröffentlichung II bereits vorgestellten SKO- und CAO-Verfahren.

Figur 2 zeigt besonders anschauliche Beispiele von Schalenarchitekturen ausgewählter Diatomeen. Insbesondere wird die Vielzahl der Detaillösungen dieser natürlichen Strukturen deutlich. Je nach der spezifischen Ausrichtung des einzelligen Organismus entsprechend seinen Umgebungsbedingungen und Nahrungsgewohnheiten bilden sich ganz unterschiedliche Formen seiner Schutzhülle heraus. Es wird deutlich, dass eine Fülle von einzelnen Strukturelementen und größeren Unterstrukturen in technischen Leichtbaustrukturen Verwendung finden können. In besonderen Fällen vielleicht sogar komplette Schalenarchitekturen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von konstruktiven Erstmodelldaten für eine
5 technische Leichtbaustruktur mit den Verfahrensschritten :

1. Bereitstellung der relevanten Grundparameter der zu erstellenden
technischen Leichtbaustruktur in Bezug auf die technische Problemstellung,
2. Vorauswahl von einem oder mehreren biomineralisierten Einzellern mit zu
den bereitgestellten Grundparametern passenden natürlichen Schalen-
architekturen,
10
3. Auswahl von einer oder mehreren Feinstrukturen der für eine technische
Realisierung aussichtsreichsten Bereiche der vorausgewählten Schalen-
architekturen,
4. direkte Abnahme der konstruktiven Daten von den ausgewählten Fein-
strukturen,
15
5. Skalierung der abgenommenen konstruktiven Daten auf die Grund-
parameter der zu erstellenden technischen Leichtbaustruktur,
6. Kombination und Anpassung der skalierten konstruktiven Daten zu eine
Satz von Erstmodelldaten für ein Erstmodell der zu erstellenden
20 technischen Leichtbaustruktur und
7. Optimierung des Erstmodells.

2. Verfahren nach Anspruch 1 mit einer Ablage gemeinsamer beschreibender
Eigenschaften technischer Leichtbaustrukturen und Schalenarchitekturen
25 biomineralisierter Einzeller als organisierte Sammlung von Aspekten und
Aspektwerten in einer Datenbank.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 mit einer Ablage einer durch ihre
bekannten Eigenschaften charakterisierten Hierarchie einzelner

Strukturelemente, größerer Unterstrukturen und ganzer Schalenarchitekturen biomineralisierter Einzellern als organisierte Sammlung in einer Datenbank.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 mit einer direkten Abnahme
5 der konstruktiven Daten von den ausgewählten Feinstrukturen oder Unterstrukturen durch zumindest halbautomatisches mikroskopisches Scannen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Ablage der direkt
10 abgenommenen konstruktiven Daten als organisierte Sammlung in einer Datenbank.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 mit einer Ablage von Kriterien
für die Skalierung, die Kombination und die Anpassung der konstruktiven
Daten, von Erstmodellen und deren Optimierungsergebnissen als organisierte
15 Sammlung in einer Datenbank.

1/2

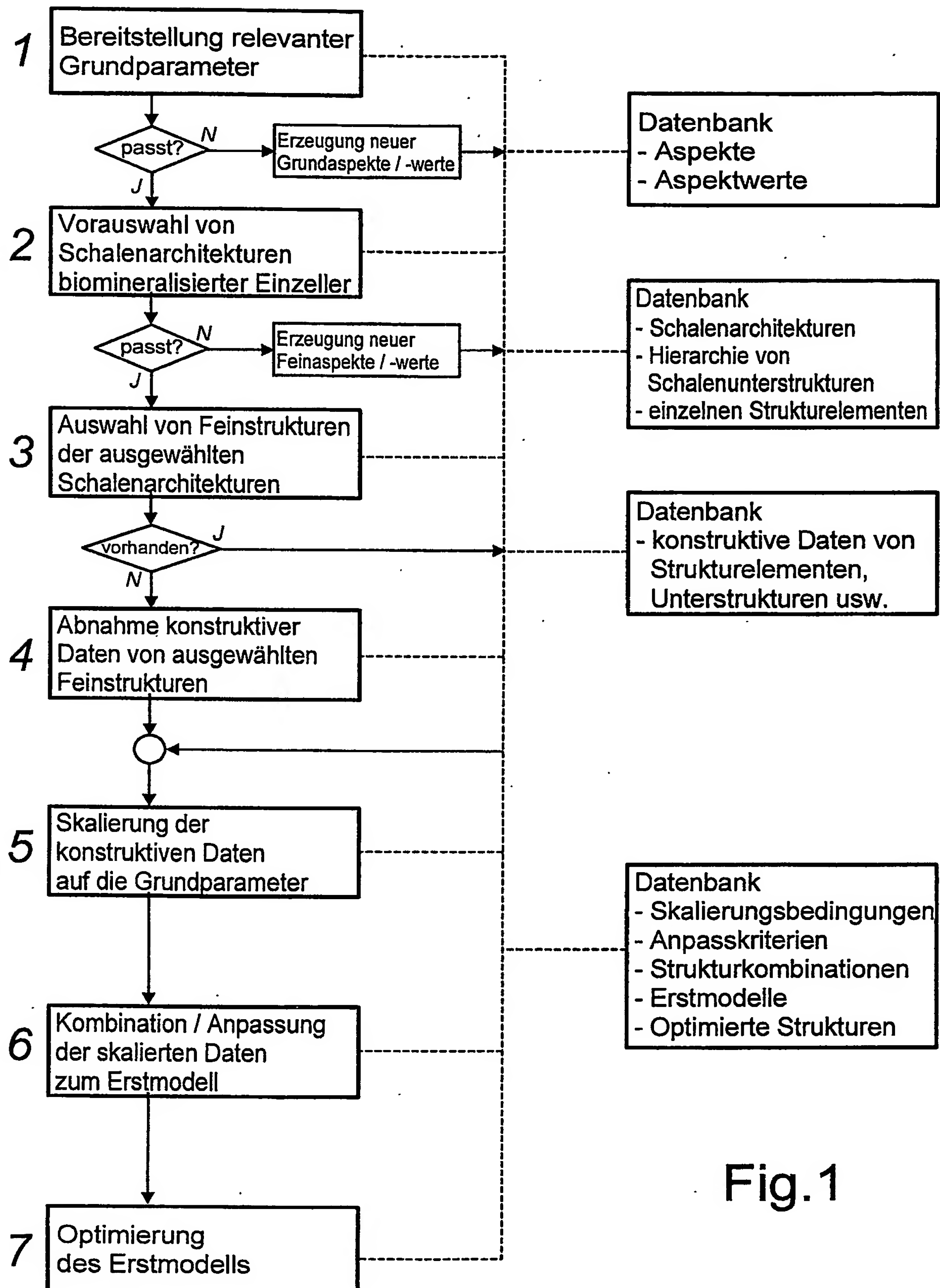


Fig.1

2/2

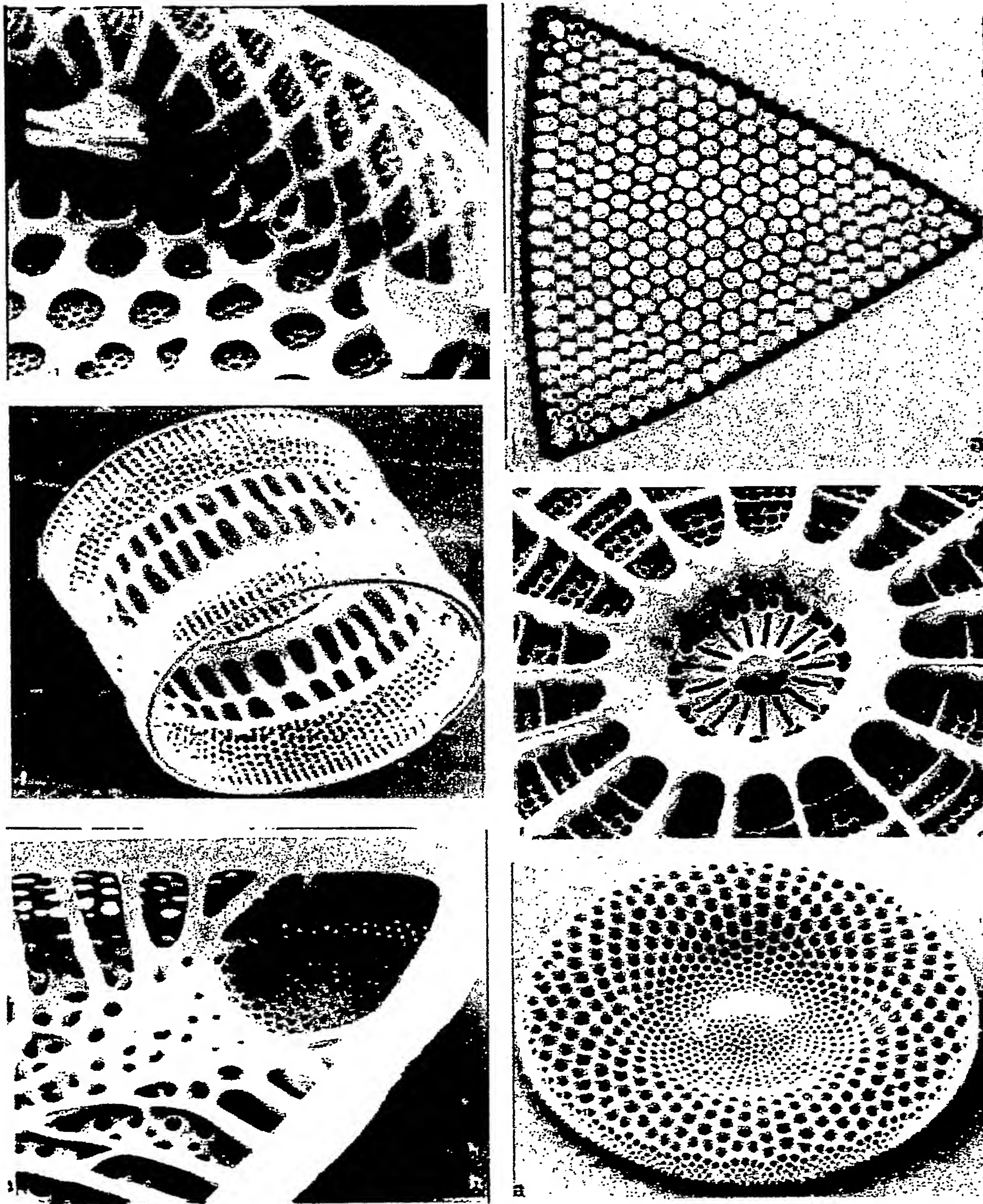


Fig.2

Zusammenfassung

5 Verfahren zur Ermittlung von konstruktiven Erstmodelldaten für eine technische Leichtbaustruktur

Zur Konstruktion von technischen Leichtbaustrukturen wird im Stand der Technik zunächst ein numerisches Erstmodell erstellt und dieses anschließend optimiert. Dazu wird entweder ein gegenständliches Modell erzeugt, dessen
10 Daten abgenommen und in einem numerischen Erstmodell verankert, oder es wird direkt ein numerisches Erstmodell unter Zuhilfenahme konstruktiver Überlegungen und Methoden erzeugt. In beiden Fällen ist der Erwerb von Daten zum Erstmodell aufwändig und führt regelmäßig nicht zu einem einfach optimierbaren Ergebnis. Die Aufgabe, ein Verfahren zum rationellen
15 Datenerwerb für die Erstellung eines einfach optimierbaren Erstmodells anzugeben, wird von der Erfindung dadurch gelöst, dass Schalenarchitekturen biomineralisierter Einzeller aus der Natur nach einem an die zu erstellende Leichtbaustruktur sehr dicht angepassten Aspektsatz ausgewählt und deren konstruktive Daten direkt abgenommen werden. Dabei können auch
20 Unterstrukturen ausgewählt werden. Gefundene Teillösungen werden kombiniert, die Daten auf das Erstmodell skaliert und dieses in einem einfachen Schritt optimiert. Die Anlegen von Datenbanken mit bekannten Aspektsätzen und Erstmodelldaten vereinfacht das Verfahren nach der Erfindung zusätzlich.

25

Figur

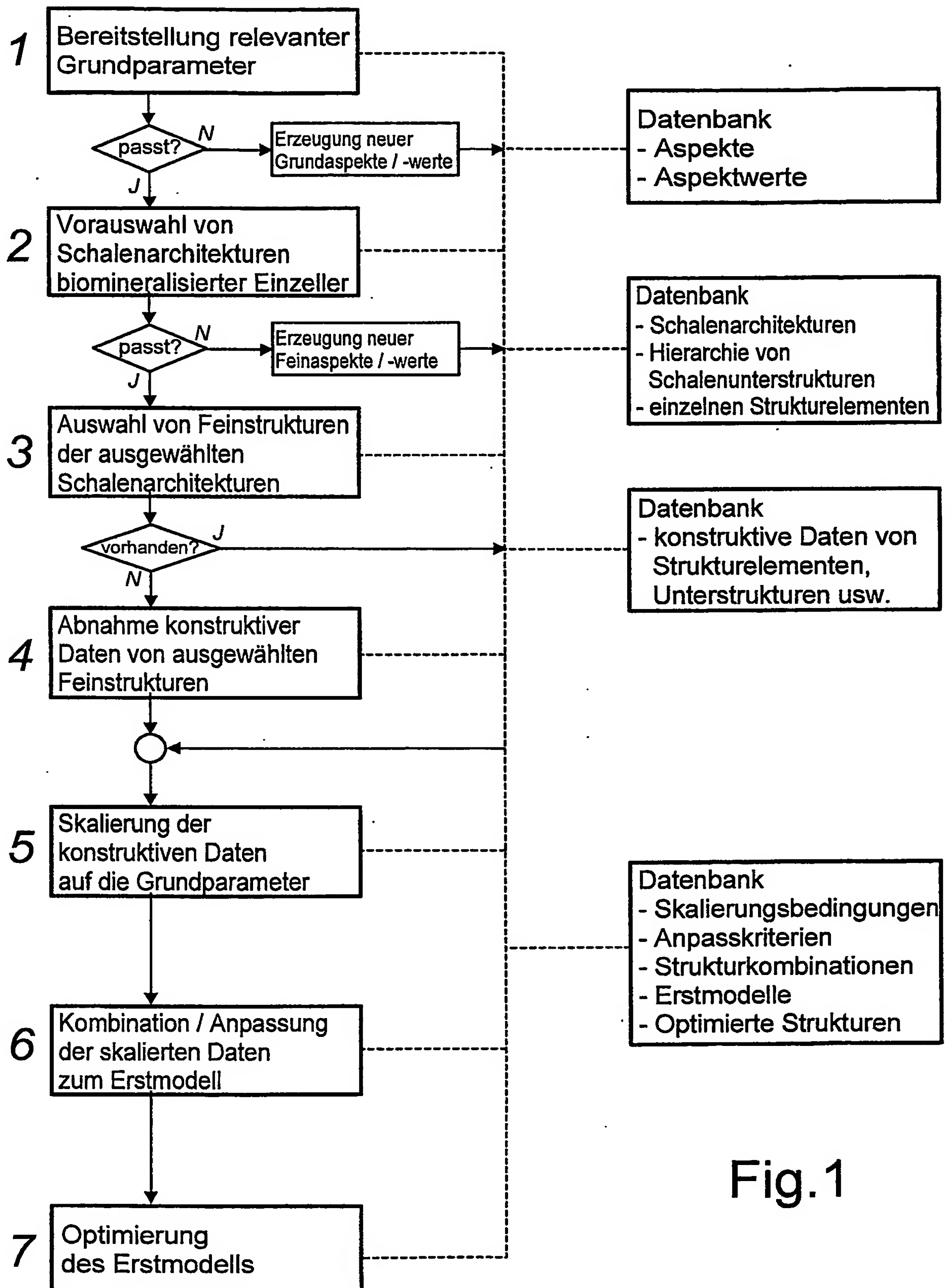


Fig.1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.